Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Régions du Golfe, des Maritimes et de Terre-Neuve-et-Labrador

Secrétariat canadien de consultation scientifique
Avis scientifique 2015/058

ÉLABORATION DE POINTS DE REFERENCE POUR LE SAUMON DE L'ATLANTIQUE (*SALMO SALAR*) CONFORMES A L'APPROCHE DE PRECAUTION

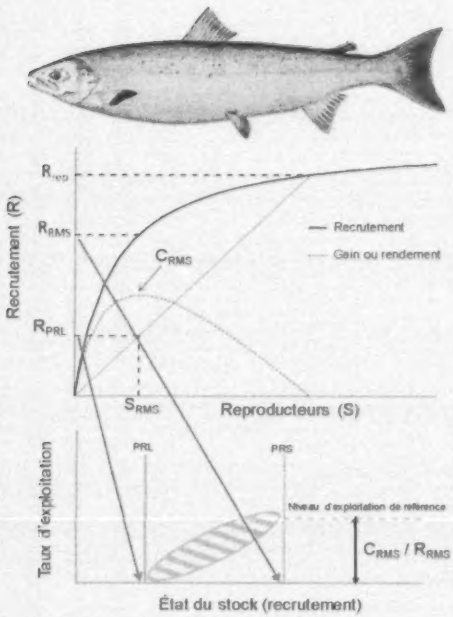

Figure 1 : Zones de pêche du saumon de l'Atlantique dans l'est du Canada

Contexte :

Le Secteur de la gestion des écosystèmes et des pêches de Pêches et Océans Canada (MPO) a demandé au Secteur des sciences de Pêches et Océans Canada d'élaborer des points de référence pour le saumon de l'Atlantique conformes au « Cadre décisionnel pour les pêches en conformité avec l'approche de précaution » (MPO 2009a). La demande fait suite à une action associée à la mise en œuvre de la Politique pour la conservation du saumon sauvage de l'Atlantique (MPO 2009b) visant à examiner les points de référence conformes à l'approche de précaution. Il existe actuellement cinq valeurs de référence propres aux régions pour le saumon de l'Atlantique dans l'est du Canada sous l'appellation de « objectif de conservation ». Par définition, l'objectif de conservation est considéré comme un point de référence limite (CSCPCA 1991a). À l'heure actuelle, la gestion des pêches au saumon de l'Atlantique est fondée sur un objectif d'échappement fixe au-dessus duquel tous les poissons excédentaires au seuil de conservation sont exploitables par la pêche (CSCPCA 1991b). Les besoins en conservation définis par le Comité scientifique consultatif des pêches canadiennes dans l'Atlantique ont servi aux échelles nationale et internationale pour orienter des mesures de gestion des pêches, notamment en matière de recommandations de prises pour les pêches de stocks mélangés du saumon de l'Atlantique au Groenland occidental. Les valeurs individuelles de certaines rivières fondées sur les besoins de conservation ont également été proposées en tant que points de référence limite conformes à l'approche de précaution pour les stocks dans la région des Maritimes de Pêches et Océans Canada (MPO 2012).

Le présent document propose des recommandations concernant l'élaboration de points de référence pour le saumon de l'Atlantique conformes à l'approche de précaution. Les renseignements utilisés pour préparer ces recommandations ont été soumis à l'examen scientifique par les pairs du 11 au 13 février 2014, à Moncton, au Nouveau-Brunswick. Les participants à cet examen scientifique comprenaient des représentants des Sciences et de la Gestion des pêches de Pêches et Océans Canada, des représentants de la province de Québec, des experts externes invités, des organisations autochtones et des organismes non gouvernementaux.

Décembre 2015

Canada

SOMMAIRE

- Le point de référence limite doit être déterminé en fonction de la conservation de la population de saumons et ne pas tenir compte des objectifs d'exploitation de la pêche.
- Le point de référence proposé (S_{PRL}) correspond à un dépôt d'oeufs qui réalise avec moins de 25% de chance une production de saumoneaux inférieure à 50% du recrutement maximum potentiel.
- En ce qui concerne les petites populations, il faut tenir compte de facteurs génétiques liés à la conservation, en complément aux renseignements sur les stocks et le recrutement, pour établir un point de référence limite.
- Le point de référence supérieur du stock doit au moins être supérieur au point de référence limite. La probabilité que le stock tombe sous le point de référence limite devrait être très faible (inférieure à 5 %) lorsque le stock est au niveau de référence supérieur et qu'il est exploité au taux maximal. Le choix du point de référence supérieur du stock dépend des objectifs des utilisateurs ainsi que du profil de risque et de la tolérance aux risques de la stratégie de gestion.
- Si les points de référence sont définis en fonction des taux, comme les œufs ou les reproducteurs par zone fluviale mouillée, ils peuvent être transférés si les zones d'habitat et les caractéristiques biologiques du stock sont connues.
- La modélisation de stock et du recrutement constitue l'approche de prédilection pour l'étude de la dynamique des populations et pour l'élaboration des points de référence pour le saumon de l'Atlantique.
- Le cadre de modèlisation hiérarchique bayésien représente un excellent moyen pour aborder l'interchangeabilité et le transfert des points de référence aux populations non surveillées et aux populations pour lesquelles il existe peu de données.

INTRODUCTION

En 2009, Pêches et Océans Canada a publié le Cadre pour la pêche durable, qui fournit la base de gestion des pêches canadiennes de manière à appuyer la conservation et l'utilisation durable. Le cadre comprend un certain nombre de politiques sur la conservation et l'utilisation durable des ressources halieutiques, notamment « Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution » (MPO 2009a). Le cadre décisionnel pour les pêches (le cadre d'AP) s'applique à la prise de décisions concernant les stratégies de pêche ou les taux de récolte d'un stock, soit une fois l'an, soit à un autre intervalle quelconque, pour déterminer le total autorisé des captures (TAC) ou d'autres mesures de contrôle des pêches. Il en est ainsi pour les stocks du saumon de l'Atlantique dans l'est du Canada.

Le cadre décisionnel général intégrant l'AP comprend trois composantes :

1. Des points de référence et des zones d'état du stock (zone saine, zone de prudence et zone critique) (figure 2).
2. Une stratégie et des règles de décision pour les pêches.
3. La nécessité de tenir compte de l'incertitude et du risque dans l'élaboration des points de référence ainsi que dans l'élaboration et la mise en œuvre de règles de décision.

Le premier volet du cadre, c'est-à-dire les points de référence et les zones d'état, fait l'objet du présent avis.

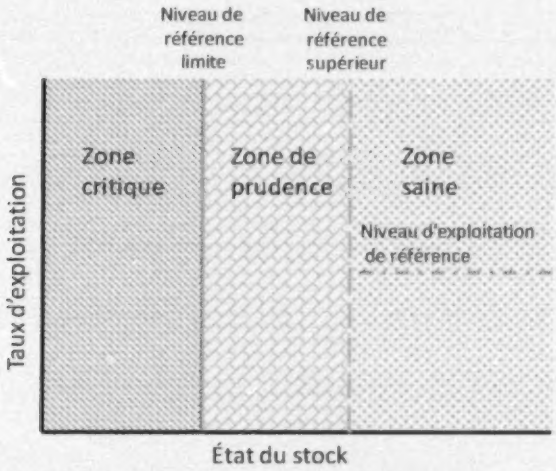

Figure 2. Diagramme classique de l'approche de précaution illustrant les trois zones d'état et les niveaux de référence qui délimitent ces zones.

Le cadre de l'approche de précaution est généralement représenté selon un diagramme à deux dimensions comportant trois zones d'état (zone critique, zone de prudence et zone saine); l'axe des abscisses représente l'état du stock et l'axe des ordonnées correspond au taux d'exploitation (figure 2). Le long de l'axe de l'état du stock, le point de référence limite correspond à la démarcation entre la zone critique et la zone de prudence. Le point de référence supérieur du stock correspond à la démarcation entre la zone de prudence et la zone saine selon l'axe de l'état du stock. Le taux d'exploitation de référence maximal est déterminé sur l'axe du taux d'exploitation.

Le point de référence limite détermine le niveau du stock au-dessous duquel la productivité est compromise de telle façon que cela entraîne un dommage grave (MPO 2009a). Le point de référence supérieur du stock représente le niveau de stock au-dessous duquel il faut progressivement commencer à réduire les prélèvements pour éviter que le point de référence limite ne soit atteint. En fonction du cadre de l'approche de précaution, le point de référence supérieur du stock doit donc être fixé à un niveau assez élevé par rapport au point de référence limite, de façon à laisser au système de gestion une marge de manœuvre suffisante pour détecter tout déclin de l'état d'un stock et à donner assez de temps pour mettre en œuvre des mesures de gestion efficaces. Le point de référence limite est fondé sur des critères biologiques; il est établi par les scientifiques selon un processus évalué par des pairs (MPO 2009a). Le point de référence supérieur du stock est déterminé par les gestionnaires des pêches, appuyés en cela par des consultations avec le milieu de la pêche et d'autres groupes d'intérêts ainsi par des avis et conseils fournis par le Secteur des sciences (MPO 2009a).

Le taux d'exploitation de référence est le taux d'exploitation maximal acceptable du stock qui s'applique lorsque le stock se trouve en zone saine, et il englobe toutes les causes de mortalité d'origine anthropique. Afin de respecter l'Accord des Nations Unies sur la pêche, le taux d'exploitation de référence ne doit pas dépasser le taux d'exploitation associé au rendement maximal durable (MPO 2009a).

Biologie du saumon de l'Atlantique

Le saumon de l'Atlantique anadrome (*Salmo salar*) est itéropare (peut frayer plusieurs fois), mais le stock reproducteur annuel est principalement composé d'individus se reproduisant pour la première fois. Les reproducteurs de premier frai constituent le principal des prises de la pêche du saumon de l'Atlantique; la pêche en mer des individus immatures est par ailleurs limitée. Alors que, quelle que soit

l'année, le stock reproducteur est dominé par du nouveau recrutement, l'accumulation des reproducteurs demeure limitée d'une année à l'autre, même pour les stocks comprenant des géniteurs de frais multiples. Par conséquent, la gestion du saumon de l'Atlantique est principalement axée sur l'attente des objectifs d'échappement afin d'assurer un niveau de frai qui profiterait à la pêche et qui serait avantageux à l'espèce pour les générations suivantes.

Le saumon de l'Atlantique utilise deux milieux distincts pour accomplir son cycle vital et la structuration des populations à l'échelle de rivière individuelle est très évoluée. La régulation de la population en fonction de la densité est bien établie pendant la phase en eau douce du cycle vital et se manifeste principalement durant la première ou les deux premières années de vie en eau douce. Il n'existe aucune preuve indiquant que le taux de survie en mer dépend de la densité de la population.

De nombreux stocks de saumon de l'Atlantique présentent un biais important lié au sexe selon l'âge à maturité (O'Connell et al. 2006; figure 3). Parmi les populations de saumon de l'Atlantique dominés par les saumons unibermarins (1HM, madeleineau ou petit saumon), on observe une importante proportion de femelles dans les montaisons et dans les effectifs de saumoneaux migrateurs, ainsi qu'une forte proportion des effectifs qui parviennent à maturité à l'état de tacons précoces. Parmi les populations de saumons qui comprennent des poissons de plusieurs âges de maturité en mer, on observe une plus grande abondance de mâles dans les montaisons de saumons unibermarins (1HM) alors que le nombre de femelles est plus élevé dans les saumons pluribermarins (comprenant dibermarins et tribermarins) (Chaput et al. 2006; O'Connell et al. 2006). Les abondances de ces groupes respectifs parmi les montaisons en rivière peuvent également présenter d'importantes disparités. En conséquence, l'état du stock pour le saumon de l'Atlantique est généralement évalué selon le nombre total anticipé d'œufs, avec des rajustements dans la quantité d'œufs selon l'augmentation de la taille des femelles.

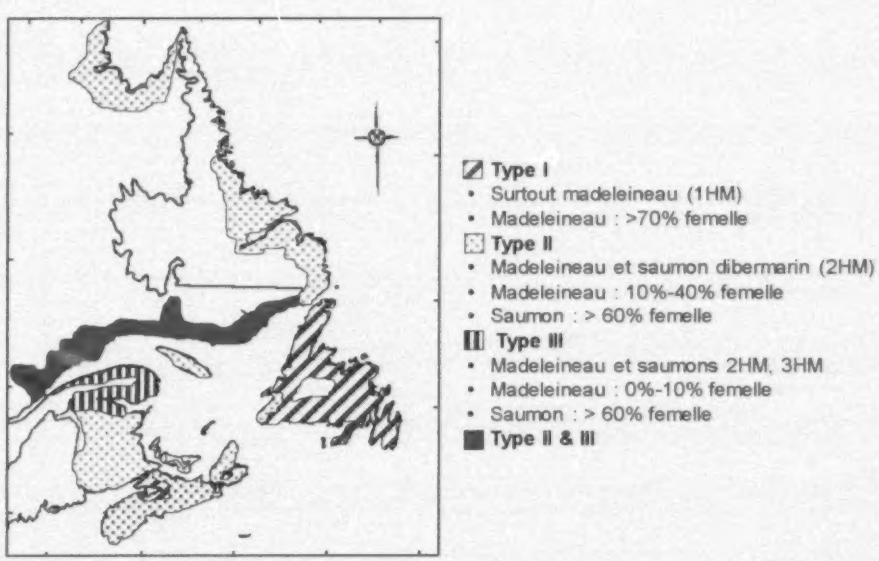

Figure 3. Répartition des groupes généraux des types de stocks de populations de saumon de l'Atlantique dans l'est du Canada. Le stock de Type I se compose principalement d'adultes madeleineaux (1HM), le Type II principalement d'adultes 1HM et de dibermarin (2HM) et le Type III d'adultes 1HM, 2HM et de tribermarin (3HM). Il faut noter que dans chaque zone de type de stock, peuvent se trouver quelques stocks relevant d'un autre type. Adaptation du graphique de Porter et al. (1986) et O'Connell et al. (2006).

Points de référence actuellement utilisés pour le saumon de l'Atlantique

Les points de référence ont servi de manière informelle depuis les années 1970 pour fournir des avis pour la gestion des pêches du saumon de l'Atlantique (Chaput et al. 2013) et ils ont été définis et utilisés avant la mise en vigueur du Cadre pour la pêche durable (MPO 2009a).

En 1991, le Comité scientifique consultatif des pêches canadiennes dans l'Atlantique (CSCPCA) (1991a) a officiellement défini la conservation du saumon de l'Atlantique comme étant le taux de ponte qui serait appliqué par rivière; un document consultatif présenté par la suite par le Comité indique les valeurs pour les exigences en matière de conservation pour un certain nombre de rivières dans l'est du Canada et fournit des conseils concernant l'excédent aux exigences de conservation (CSCPCA 1991b).

Le CSCPCA (1991a) indiquait que le taux d'abondance du stock sous lequel il recommandait fortement de ne plus pêcher (c.-à-d. le PRL) ne pouvait pas être déterminé avec absolue précision et considérait que de tolérer un important déclin du complexe du stock présentait des risques inutiles de causer des dommages irréversibles sur les capacités de récupération des ressources dans un délai raisonnable. Le CSCPCA (1991a) a ensuite proposé une adaptation opérationnelle des mesures de conservation à un taux de ponte de 2,4 œufs par m^2 d'habitat de croissance fluvial, et en addition pour l'île de Terre-Neuve, un taux de 368 œufs par ha d'habitat lacustre (ou 150 œufs par ha pour les stocks de la péninsule nord de Terre-Neuve). Le CSCPCA a considéré que plus l'échappement de reproducteurs se situait sous les niveaux de référence biologique et le plus longtemps que durait cet écart, même si les taux n'étaient que légèrement sous ce niveau, plus la possibilité de créer des risques qui pourraient causer des dommages irréversibles au stock était élevée. Les exigences en matière de conservation pour les différentes régions dans l'est du Canada fondées à partir de cette méthode varient selon ces régions (tableau 1).

Le CSCPCA (1991a, 1991b) a établi des points de référence régionaux pour la gestion des pêches subséquentes en fonction d'une politique en matière d'échappement fixe, et selon laquelle tout le poisson excédant cette exigence est considéré en tant que surplus et pouvant être pêché. Le niveau de référence unique utilisé dans le contexte d'une stratégie d'échappement fixe n'est pas conforme au cadre d'approche de précaution, car il n'établit aucun taux d'exploitation maximal dans la zone saine et ne détermine aucun niveau de référence supérieur du stock à partir duquel le taux d'exploitation maximal puisse être appliqué (figure 4). Bien que le taux d'exploitation chute effectivement à zéro lorsque l'état du stock décline jusqu'au point de conservation, le taux d'exploitation augmente continuellement alors que le stock reproducteur devient constant une fois que l'abondance dépasse l'objectif de conservation (figure 4). Au cours de l'examen des points de référence de l'approche de précaution pour divers stocks de la région des Maritimes du MPO, les exigences en matière de conservation par rivière fixées à 2,4 œufs par m^2 d'habitat de croissance fluvial selon les estimations de O'Connell et al. (1997) ont été proposées pour servir de niveau de référence limite pour les populations de saumons dans cette région (Gibson and Claytor 2012 ; MPO 2012).

Les niveaux de référence et la dynamique des populations du saumon de l'Atlantique sont le plus souvent représentés sous forme de diagramme de stocks et de recrutement avec l'abondance du stock de reproducteur sur l'axe horizontal et l'abondance du recrutement subséquente attribuable au stock reproducteur représentée sur l'axe vertical (figure 5). Les exigences en matière de conservation pour le saumon de l'Atlantique sont exprimées sous forme de valeur du stock reproducteur. Cela diffère quelque peu du cadre de l'approche de précaution qui présente l'état du stock sur l'axe horizontal et du taux d'exploitation sur l'axe verticale (figures 2 et 5). Dans le cadre de l'approche de précaution, l'axe de l'état du stock fait référence à l'abondance totale ou à un index d'abondance totale avant les pêches.

Tableau 1. Résumé des objectifs de conservation actuellement déterminés pour le saumon de l'Atlantique par région dans l'est du Canada.

Province/région	Objectif	Point de référence	Citations
Provinces maritimes	Production maximale eau douce	240 œufs par 100 m^2 d'habitat fluvial	CSCPCA (1991a, 1991b) O'Connell *et al.* (1997)
MPO, région des Maritimes	50 % du recrutement maximal	240 œufs par 100 m^2 d'habitat fluvial	MPO (2012); Gibson et Claytor (2012)
Île de Terre-Neuve	Production maximale eau douce	240 œufs par 100 m^2 d'habitat fluvial + 3,68 œufs par 100 m^2 d'habitat lacustre ou +1,50 œuf par 100 m^2 d'habitat lacustre de la péninsule Northern	CSCPCA (1991a, 1991b) O'Connell et Dempson (1995)
Labrador	50 % du point d'équilibre des adultes	190 œufs par 100 m^2 d'habitat fluvial	Reddin *et al.* (2006)
Québec	Gain maximal en œufs (S_{RMS})	167 œufs par 100 m^2 d'unités de production	Caron *et al.* (1999) Prévost *et al.* (2001)

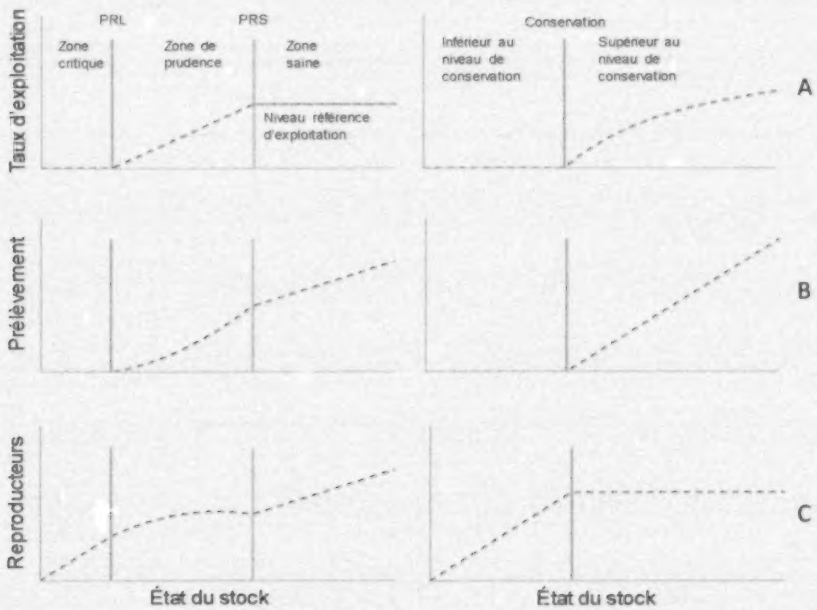

Figure 4. Comparaison du cadre d'approche de précaution (colonne de gauche) à la stratégie d'échappement fixe avec un point de référence unique (conservation, colonne de droite) par rapport à l'indicateur de l'état du stock pour les taux d'exploitation (rangée du haut A), pêches (B) et reproducteurs (C). Une pente du taux d'exploitation linéaire dans la zone de prudence du cadre de l'approche de précaution est présentée à titre d'exemple seulement. Les valeurs de référence sur les axes de l'état du stock et du taux d'exploitation sont arbitraires et sont indiquées à titre d'illustration seulement.

Le point de référence unique et la stratégie d'échappement fixe utilisés pour le saumon de l'Atlantique peuvent être harmonisés au cadre de l'approche de précaution en adaptant l'indicateur de recrutement provenant des diagrammes de stock et de recrutement à l'indicateur d'état du stock du cadre de

l'approche de précaution (figure 5). Le recrutement qui correspond au point sur le rendement maximal soutenu (R_{RMS}) correspond à la valeur de B_{RMS} sur l'axe de l'état du stock tel que décrit dans la politique de l'approche de précaution. Le stock reproducteur qui génère la valeur R_{RMS} est la valeur S_{RMS} (appelé également S_{opt}) et la différence entre la R_{RMS} et la S_{RMS} équivaut à la valeur C_{RMS}, les prises au rendement maximal soutenu. Le rapport de C_{RMS} à R_{RMS} est la valeur F_{RMS}, qui représente le taux d'exploitation maximal recommandé dans la zone saine selon l'approche de précaution. Si le taux d'exploitation est représenté comme une diminution linéaire de la valeur F_{RMS} lorsque l'état du stock est à la B_{RMS} et à 0 au niveau de référence limite, alors cette stratégie correspond à la stratégie d'échappement fixe actuellement utilisée pour la gestion du saumon de l'Atlantique.

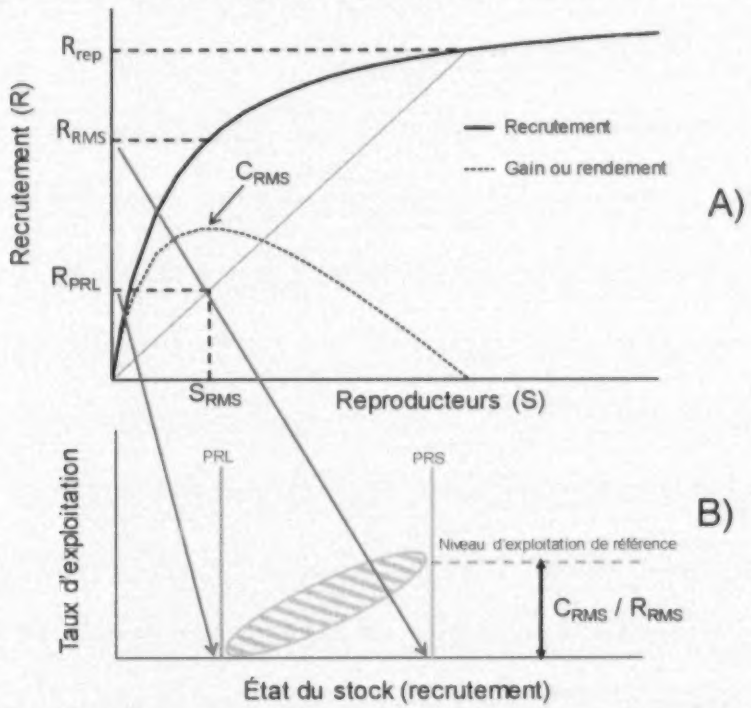

Figure 5. Transposition du plan de la relation de stock reproducteur et recrutement (image supérieure A) au plan avec les axes du taux d'exploitation et l'état du stock (image inférieure B) dans le cadre de l'approche de précaution. L'exemple est pour un point de référence supérieure d'un stock correspondant à R_{RMS}, un point de référence limite équivalant à S_{RMS} et un taux d'exploitation correspondant à F_{RMS}. Le taux d'exploitation dans la zone de prudence (ovale gris hachuré) est déterminé en fonction de l'analyse de risques de probabilité que l'abondance après exploitation soit inférieure au point de référence limite. R_{rep} est le niveau d'abondance qui remplace les reproducteurs.

ÉVALUATION

Points de référence possibles pour le saumon de l'Atlantique

Point de référence limite

Le point de référence limite (PRL) détermine le niveau du stock au-dessous duquel la productivité est compromise de telle façon que cela entraîne un dommage grave (MPO 2009a). En conséquence, le PRL doit être déterminé en fonction de la conservation de la population de saumons et ne pas tenir compte des objectifs d'exploitation par la pêche. Il s'agit de maintenir la production en eau douce afin

de fournir un nombre suffisant de montaisons d'adultes malgré d'importantes variations des conditions environnementales dans le milieu marin, et ce, dans le but de garantir des conditions adéquates pour l'expression de la diversité des phénotypes adultes et de préserver la variabilité génétique. Ainsi, il existe un certain nombre de points de référence possibles pour atteindre cet objectif :

- $S_{0,5Rmax}$ abondance de reproducteurs produisant 50 % du recrutement maximal
- $S_{gén}$ abondance de reproducteurs entraînant un recrutement à la valeur S_{RMS} en une génération, en l'absence de pêche et dans des conditions d'équilibre
- S_{opt} abondance de reproducteurs entraînant un rendement soutenu potentiel maximal (S_{RMS})
- S_{PRL} abondance de reproducteurs entraînant un risque de 25 % ou moins que le recrutement soit inférieur à la moitié du recrutement maximal.

Les deux points de référence les plus solides et non distinguables par rapport au risque de disparition et au potentiel de rétablissement pour la dynamique des populations types du saumon du Pacifique sont $S_{0.5Rmax}$ (et par définition S_{PRL}) et $S_{gén}$ (Holt et al. 2009). Tous les points de référence ci-dessus peuvent être établis à partir de la relation stock-recrutement du cycle vital complet, mais seules les valeurs $S_{0,5Rmax}$ et S_{PRL} peuvent être établies à partir de la relation stock-recrutement qui tient compte uniquement de la phase en eau douce du cycle vital.

Le point de référence limite doit être au moins déterminé en fonction d'une analyse de risques de l'échappement de reproducteurs menant à une probabilité convenue du recrutement étant inférieur à 50 % R_{max}. Une tolérance au risque maximale de 25 % de recrutement inférieure à 50 % R_{max} est proposée. Dans le cas où d'autres points de référence sont pris en considération pour le point de référence limite, ils doivent être évalués en lien à la valeur S_{PRL} déterminé ci-dessus et le point de référence ne doit pas être inférieur à cette valeur.

Pour les petites populations, la diversité génétique peut fortement diminuer, ce qui augmente les risques de dépression consanguine et peut mener à l'extinction (Frankham et al. 2014) En conséquence, il faut tenir compte de la génétique de conservation, en complément aux renseignements sur le stock et le recrutement pour établir un point de référence limite. La taille effective de la population constitue un indice utile de gestion de conservation pour servir à évaluer l'étendue des risques d'élevage en consanguinité et qui peut également être utilisé comme outil complémentaire approprié pour le stock et le recrutement. De plus, le fait de maintenir 90 % de la diversité génétique pendant plus d'un siècle dans un but de conservation, comme cela se fait pour d'autres espèces, constitue un objectif approprié (Frankham et al. 2014).

Point de référence supérieur du stock

Le choix du point de référence supérieur du stock est en grande partie déterminé par le choix du point de référence limite. La politique d'approche de précaution précise que :

> « Le point de référence supérieur du stock doit être fixé à un niveau assez élevé par rapport au point de référence limite, de façon à laisser au système de gestion une marge de manœuvre suffisante pour détecter tout déclin de l'état d'un stock et à donner assez de temps pour mettre en œuvre des mesures de gestion efficaces... alors que des facteurs socioéconomiques puissent influencer la détermination du point de référence supérieur du stock, il est essentiel que ces facteurs ne diminuent pas la fonction minimale du point de référence supérieur du stock, qui consiste à orienter la gestion du risque causé lorsque l'état du stock se rapproche du pont de référence limite » (MPO 2009a).

La définition du point de référence supérieur du stock dépend de l'objectif de gestion pour la ressource, par exemple, l'optimisation du rendement pour les récoltes ou l'optimisation des possibilités pour les pêches récréatives. Plusieurs points de référence possibles peuvent être envisagés :

- 80 % R_{RMS} recrutement correspondant à 80 % R_{RMS} en vertu de la politique d'approche de précaution.
- R_{RMS} : recrutement correspondant au niveau de reproducteurs S_{RMS}.
- X % R_{max} : un pourcentage (X %) du recrutement maximal prévu du stock.

Aucune recommandation n'est faite pour un point de référence supérieur du stock étant donné que le choix dépend des objectifs des utilisateurs ainsi que du profil de risques et de la tolérance aux risques de la stratégie de gestion. La meilleure façon de déterminer les points de référence supérieurs du stock consiste à tenir compte des considérations du cycle vital complet, étant donné que le recrutement peut subir une baisse de productivité et par conséquent, une augmentation du risque de déclin de l'abondance du stock sous le point de référence limite. Le point de référence supérieur du stock doit évidemment être supérieur au point de référence limite. En outre, la probabilité que le stock tombe sous le point de référence limite devrait être très faible (inférieure à 5 %) lorsque le stock est au point de référence supérieur et qu'il est exploité au taux maximal.

Taux d'exploitation de référence

Le MPO (2009a) indique que le taux d'exploitation maximum dans la zone saine ne devrait pas dépasser la valeur correspondant à F_{RMS}. Ce taux dans la zone saine peut être calculé une fois déterminé le point de référence supérieur du stock. Le taux d'exploitation maximum peut être établi comme le ratio du maximum de prises effectuées (C_{RMS}) lorsque le recrutement est au R_{RMS}, c.-à-d. C_{RMS} / R_{RMS}.

Considérations en matière de variations de productivité, particulièrement la survie en mer, du saumon de l'Atlantique

Comme il a été mentionné précédemment, le saumon de l'Atlantique utilise deux milieux distincts pour accomplir son cycle vital. La régulation de la population en fonction de la densité pendant la phase en eau douce du cycle vital est bien connue (Jonson et al. 1998; Elliott 2001; Gibson 2006). Cependant, la mortalité en mer est généralement considérée comme étant indépendante de la densité.

Deux facteurs opposés viennent compliquer la modélisation de la relation stock-recrutement et l'élaboration des points de référence :

- la nécessité d'une longue série chronologique d'abondance contrastée pour estimer les paramètres du cycle biologique, et par opposition
- le risque que des changements systématiques et durables concernant les paramètres du cycle biologique estimés surviennent.

Un changement systématique et durable des niveaux des paramètres de dynamiques de population au fil du temps est appelé la non-stationnarité ; ceci est différent de variations stochastiques à court terme. Ainsi, en raison de la non-stationnarité, les observations du passé ne sont pas nécessairement représentatives des conditions actuelles et futures, ce qui peut donc fausser la compréhension de la dynamique des populations, des points de référence et des prévisions.

Il existe des données probantes indiquant des changements importants en matière de caractéristiques du cycle vital du saumon de l'Atlantique, particulièrement en ce qui a trait à la survie en mer depuis les quarante dernières années. Pour de nombreux stocks qui font l'objet de surveillance, les taux de retour

des saumoneaux pour un premier frai ont décliné au cours des deux dernières décennies; les déclins les plus importants ayant eu lieu à la fin des années 1980 et au début des années 1990.

Les observations de changements importants des paramètres de la dynamique des populations dans la phase du cycle vital en eau douce sont peu concluantes. Hormis les situations pour lesquelles il y a dégradation de l'habitat d'eau douce (p. ex. en raison des précipitations acides, de mise en place d'obstacle, de dégradation de l'habitat d'eau par envasement), il n'y a que peu d'éléments indiquant des types de changements brusques et durables dans le milieu en eau douce telles qu'observées dans le milieu marin, bien que la survie en eau douce à partir de la ponte jusqu'à la production subséquente de saumoneaux varie énormément d'une cohorte à l'autre.

Conséquences de la non-stationnarité sur l'élaboration des points de référence pour le saumon de l'Atlantique

Les changements de la productivité durant la phase du cycle vital en mer ou en eau douce auront des conséquences sur les niveaux des points de référence. Une baisse de productivité, dans quelque phase que ce soit, aura pour effet de réduire le recrutement d'adultes. Une diminution des taux de recrutement (recrues par reproducteur) entraîne une diminution des valeurs pour les points de référence.

Les points de référence fondés sur les modèles de cycle vital complet pourraient ne pas être suffisamment solides par rapport aux changements systématiques et durables de la dynamique en mer. Étant donné que la régulation de la population en fonction de la densité devrait avoir lieu durant la phase en eau douce, si la productivité moyenne en eau douce n'est pas modifiée, les points de référence limite déterminés en fonction de la capacité biotique en eau douce (R_{max}) pourraient résister aux changements temporels dans des conditions moyennes durant la phase marine. Les points de référence limite proposés ($S_{0,5Rmax}$; S_{PRL}) ainsi que S_{gen} ont démontré, lors de simulation, qu'ils étaient résistants par rapport aux changements soutenues de la productivité (Holt et al. 2009).

Méthodes pour la définition des points de référence

La modélisation des données de stocks et du recrutement constitue l'approche de prédilection pour l'étude de la dynamique des populations et pour l'élaboration des points de référence pour le saumon de l'Atlantique. L'état des populations du saumon de l'Atlantique en fonction des évaluations des montaisons d'adultes et en fonction des reproducteurs fait l'objet d'un rapport annuel pour 60 à 70 stocks dans l'est du Canada (CIEM 2013) Les études de dynamiques des populations qui englobent les estimations pour les reproducteurs, l'abondance des juvéniles, les saumoneaux, les montaisons d'adultes, la structure d'âge et la reconstruction de la classe d'âge n'ont été réalisées que dans un nombre restreint de rivières; cette quantité limitée de renseignements sur les populations de saumon constitue un défi pour l'élaboration de points de référence pour guider les mesures de gestion.

Les méthodes bayésiennes qui fournissent un cadre pour l'intégration des multiples niveaux d'incertitude sont bien établies et peuvent s'appliquer à des analyses de stock et de recrutement de population simple. La modélisation bayésienne hiérarchique fournit un cadre pour l'intégration de renseignements provenant de séries chronologiques de stocks et du recrutement de plusieurs populations simultanément et elle rend compte des incertitudes supplémentaires associées à des séries chronologiques multiples. Cette modélisation est couramment utilisée pour les évaluations de stocks; elle sert également pour la modélisation de séries chronologiques du stock et du recrutement pour les populations de saumon atlantique surveillées dans l'est du Canada et en Europe (Prévost et al. 2001, 2003). Les méthodes bayésiennes hiérarchiques sont les plus appropriées pour les cas où les points de référence provenant de situations bien documentées peuvent être utiles à l'estimation des paramètres des stocks et du recrutement pour lesquels les données sont rares. Les incertitudes liées

aux dynamiques des stocks et des recrutements intra-population ainsi que celles entre populations pour un groupe représentatif de rivières peuvent être quantifiées grâce à ces méthodes.

Les diagnostics d'ajustement de modèles ont démontré à plusieurs reprises que le modèle Beverton-Holt représente mieux la dynamique des stocks et du recrutement du saumon de l'Atlantique que le modèle Ricker. Les modèles Beverton-Holt indiquent habituellement des estimations plus élevées de la pente à l'origine que les modèles Ricker. La pente à l'origine est un paramètre clé relatif de la dynamique des stocks et du recrutement et qui détermine le potentiel de production d'une population et, par conséquent, la valeur du point de référence limite. Le point de référence limite est inversement lié au niveau de la pente à l'origine.

On privilégie les résultats du modèle Beverton-Holt plutôt que ceux du modèle Ricker. Si, en raison d'estimations moins élevées du taux de survie à l'origine du modèle Ricker, et par conséquent de points de référence limite plus élevés, ce sont les résultats de ce modèle qui sont choisis plutôt que ceux du modèle Beverton-Holt, il faut que ce soit clairement énoncé aux gestionnaires. Un tel choix relève d'une décision antérieure à la tolérance au risque et devrait être décrété par les gestionnaires.

Dans certaines situations, la modélisation des données empiriques et le calcul des points de référence limite peuvent produire des valeurs pour les points de référence limite qui sont inférieures aux plus faibles valeurs observées dans les séries chronologiques disponibles. Ceci, en plus du risque associé à l'utilisation d'une valeur faible et non observée pour le stock, doit alors être communiqué aux gestionnaires.

Considérations pour la compilation d'ensembles de données

Des modèles hiérarchiques de série chronologique des stocks et du recrutement d'adultes pour les montaisons d'adultes ont été établis à partir de 12 rivières au Québec, et des valeurs de ponte et de production de saumoneaux ont été établies à partir de 14 rivières dans l'est du Canada. Les covariables comprenant la surface de l'habitat d'élevage en eau douce, la présence d'habitat lacustre utilisé par les salmonidés juvéniles, les paramètres relatifs à la qualité de l'habitat ainsi que les caractéristiques biologiques des populations, dont l'âge moyen des saumoneaux, ou encore, des indicateurs tels la latitude de la rivière ont été rassemblés. Il a été établi que plusieurs de ces variables sont des facteurs importants qui modifient les paramètres particuliers des stocks et du recrutement des populations. Notamment si la capacité biotique et les taux de survie à faible abondance de reproducteurs sont faibles, alors les points de référence les sont également.

Des ensembles de données de cycle vital complet seront nécessaires pour définir le point de référence supérieur du stock ainsi que le point de référence du taux d'exploitation maximum. Pour la reconstitution de ces ensembles de données, il faut tenir compte des prélèvements par les pêches, des composantes du frai répété, et de l'ensemencement à partir des écloseries.

Les estimations du recrutement des saumons adultes doivent comprendre les prélèvements par les pêches. Ne pas tenir compte des prélèvements du recrutement par les pêches altère la contribution totale des œufs des recrues, c.-à-d. que cela diminue la productivité. Les reproducteurs de frais multiples peuvent représenter une proportion importante du stock reproducteur pour certaines populations de saumon de l'Atlantique (Chaput *et al.* 2006; O'Connell *et al.* 2006). Il faut chercher à tenir compte de la contribution à vie des reproducteurs par cohortes pour l'établissement de la série chronologique de recrutement du saumon adulte. Si l'on ne considère que le recrutement des adultes au stade de premier frai, la contribution de reproduction à vie des recrues sera sous-estimée, ce qui faussera à la baisse les estimations d'un certain nombre de points de référence du cycle vital complet (S_{RMS}, S_{rep}).

Dans certaines rivières de l'est du Canada, les salmonidés juvéniles ont été élevés dans des écloseries et introduits ensuite dans les rivières. La contribution de saumons provenant d'écloseries aux

montaisons totales dans certaines rivières peut représenter une proportion importante de ces montaisons. (MPO 2014). Le fait de ne pas exclure cette contribution aux montaisons aura pour effet de fausser les résultats de productivité à la hausse, ce qui entraînera des points de référence des taux d'exploitation et un rendement prévu de populations sauvages plus élevés.

Intégration de l'incertitude dans le calcul des points de référence

La quantification de l'incertitude dans le cadre de l'élaboration et de l'utilisation des points de référence se compose de trois éléments : l'incertitude associée au calcul du point de référence, la valeur du point de référence choisie parmi la distribution de l'estimation de ce point pour la gestion, et l'incertitude concernant l'état actuel des stocks relativement au point de référence.

Le résultat des analyses bayésiennes hiérarchiques de la dynamique de populaiton entre le stade œuf et le stade saumoneau démontrent que la dynamique des stocks et du recrutement du saumon de l'Atlantique est très variable et incertaine au sein des stocks et parmi les stocks (Chaput et al. 2015) En conséquence, les points de référence ne sont pas définis avec certitude. Grâce aux modèles bayésiens, l'incertitude des dynamiques des stocks et du recrutement dans les stocks individuels et parmi les stocks peut être intégrée dans le calcul du point de référence. Il est possible de choisir une valeur particulière de la distribution à posteriori du point de référence selon le niveau de tolérance du risque déterminé par les gestionnaires.

Comme il a été mentionné à la section précédente, le point de référence limite proposé correspond à la ponte d'œufs pour laquelle il n'y a pas plus de 25 % de chance que la production de saumoneaux en eau douce soit inférieure à 50% du recrutement maximal anticipé (50% de la capacité biotique). Le niveau de risque de 25 % est fourni comme valeur par défaut en l'absence d'autres directives de la part de la direction. Le choix du point de référence limite peut être fait en fonction de profils de risque tels qu'illustrés à la figure 6.

Transfert des points de référence aux rivières non surveillées ou pour lesquelles il existe peu de données.

Étant donné qu'il est impossible d'obtenir des données pour les stocks et le recrutement pour l'ensemble des rivières de saumons de l'Atlantique dans l'est du Canada, il faut tenir compte des transferts de valeurs de référence des populations surveillées aux rivières pour lesquelles il manque de tels renseignements. La normalisation de la courbe du stock et du recrutement en fonction de la surface habitable représente le premier niveau de normalisation prise en compte. Si les points de référence sont déterminés par rapport à des taux, comme les œufs ou les reproducteurs par surface d'habitat fluvial mouillé, ils peuvent être transférés à travers un ensemble de rivières échangeables si les surfaces d'habitat sont quantifiées.

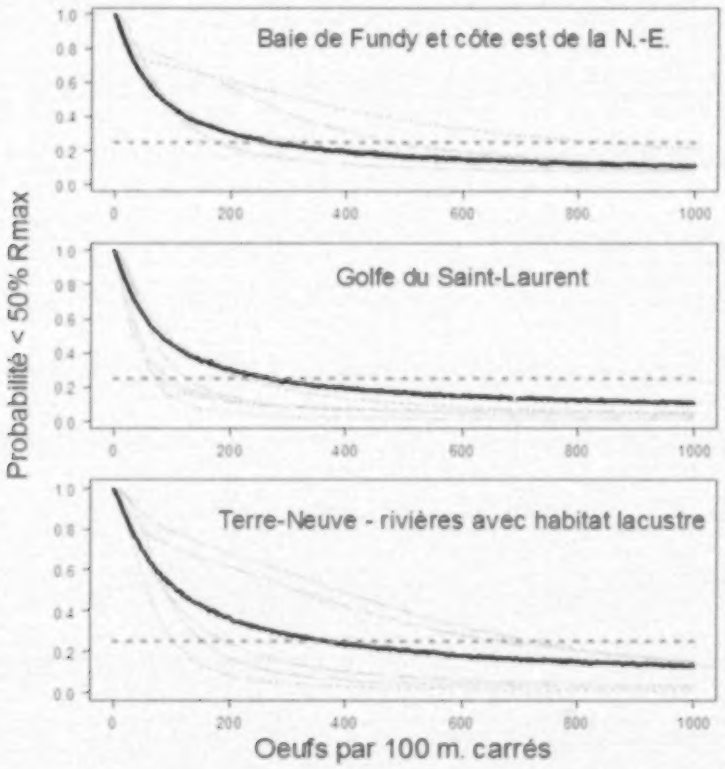

Figure 6. Exemple de profils de risque de recrutements inférieurs à 50 % de la valeur Rmax. Les courbes illustrées sont pour les 14 rivières dont on dispose des données sur les œufs jusqu'aux saumoneaux et selon les hypothèses a posteriori pour les cours d'eau groupés par catégories d'habitat fluvial seulement et pour rivières qui comprennent aussi de l'habitat lacustre. Le modèle de stocks et du recrutement est le Beverton-Holt avec présence et absence de l'habitat lacustre en tant que covariable de Rmax. Les lignes grises claires représentent les profils de rivières individuelles et les lignes noires continues représentent le profil prévu pour le regroupement de rivières sans habitat lacustre (baie de Fundy et côte atlantique de la Nouvelle-Écosse, graphique supérieur; golfe du Saint-Laurent, graphique du milieu) et le regroupement de rivières avec habitat lacustre (île de Terre-Neuve, graphique inférieur). La ligne pointillée rouge horizontale représente le niveau de probabilité de risque de 25 % et l'intersection de cette ligne aux courbes de profils correspond à S_{PRL}.

Le cadre du modèle hiérarchique bayésien représente un excellent moyen pour aborder l'interchangeabilité et le transfert des points de référence aux populations non surveillées et aux populations pour lesquelles il existe peu de données. Les covariables peuvent facilement être intégrées dans ce cadre de modélisation. Pour le transfert des points de référence, il faut que les covariables utilisées pour la modélisation des paramètres des stocks et du recrutement soient disponibles également pour les populations surveillées et les populations non surveillées. Les covariables utilisées à ce jour comprennent la superficie d'habitat en eau douce, la latitude de la rivière, la présence et la superficie d'habitat lacustre, la moyenne d'âge des saumoneaux et la proportion des œufs qui proviennent de grands saumons (pluribermarins) (O'Connell et Dempson 1995; Chaput et al. 1998; Prévost et al. 2003; Chaput et al. 2015). La figure 7 illustre les options de transfert de niveaux parmi les rivières selon des hypothèses l'interchangeabilité pour la surface d'habitat, la présence d'habitat lacustre, la moyenne d'âge des saumoneaux et la proportion des œufs provenant de saumons pluribermarins.

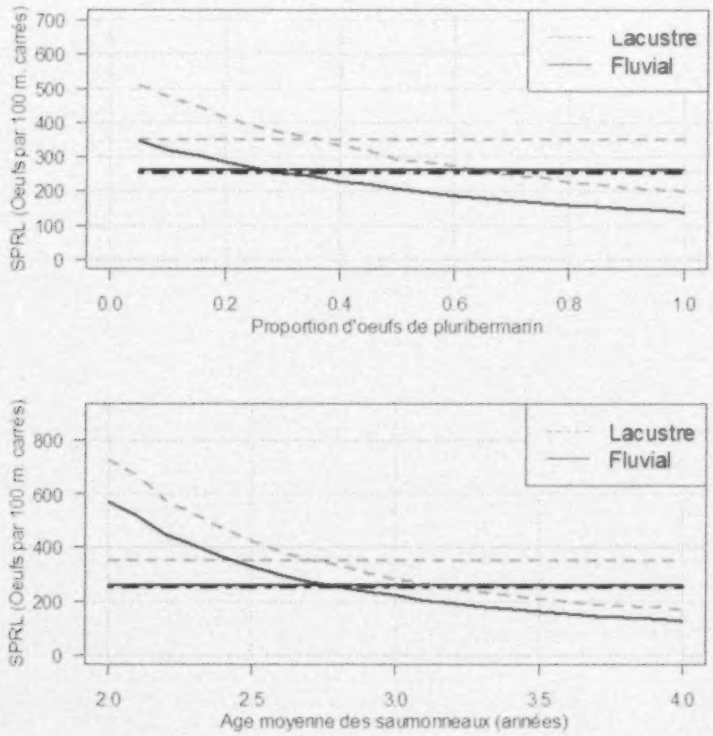

Figure 7. Valeur S_{PRL} (exprimée en œufs par 100 m^2 d'habitat fluvial) à partir d'analyses du modèle hiérarchique bayésien avec différentes hypothèses d'interchangeabilité fondées sur les données de stocks et du recrutement entre le stade œuf et le stade saumoneau de 14 rivières dans l'est du Canada. La ligne horizontale noire en traits pointillés représente la valeur S_{PRL} (200 œufs par 100 m^2) correspondant à un modèle ne comprenant que la surface d'habitat fluvial en tant que covariable. La ligne horizontale noire (S_{PRL} = 206 œufs par 100 m^2) et la ligne horizontale rouge en tirets (S_{PRL} = 278 œufs par 100 m^2) correspondent aux valeurs S_{PRL} pour le modèle comprenant la présence d'habitat lacustre en tant que covariable pour la capacité biotique pour les rivières avec seulement habitat fluvial (noir) et pour les rivières comprenant aussi de l'habitat lacustre (rouge). Les lignes courbes représentent les valeurs S_{PRL} pour le modèle comprenant les covariables présence d'habitat lacustre et l'âge moyen des saumoneaux (image supérieure) ou les covariables présence d'habitat lacustre et la proportion des œufs provenant des saumons pluribermarins (image inférieure). La courbe pour les rivières comprenant uniquement un habitat fluvial est en ligne noire pleine et la courbe pour les rivières comprenant aussi de l'habitat lacustre est en ligne rouge à tirets.

Valeurs de point de référence propres à l'âge ou propres à la taille

La plupart des points de référence pour le saumon de l'Atlantique ont été déterminés en fonction du nombre d'œufs dans le stock reproducteur et pour les cas de modèles de cycle vital complet, avec des œufs dans le recrutement. Dans la plupart des cas, les œufs de tous les phénotypes de saumon sont intégrés dans les variables des stocks et du recrutement. Cela signifie que les œufs, quelles que soient les caractéristiques des parents, ont une valeur identique pour le recrutement futur (c.-à-d. la valeur similaire concernant la survie, la croissance) et ne sont pas liés à l'âge ou la taille à la maturité (c.-à-d. héritabilité minimale).

Une évaluation récente du potentiel de rétablissement du saumon de l'Atlantique a déterminé les objectifs de rétablissement (cibles d'abondance) en fonction des exigences de ponte pour la conservation et a adapté ces objectifs aux poissons en fonction des caractéristiques du cycle biologique et de l'abondance relative prévue des groupes d'âge (MPO 2014).

Étant donné que la santé de la population est représentée par plus que la quantité d'œufs produite, la conservation de tous les phénotypes ou l'exploitation équitable des phénotypes serait la mesure de conservation la plus solide puisque le phénotype constitue un trait partiellement héréditaire chez le saumon de l'Atlantique. Même si la contribution des œufs (pour ce qui est du nombre d'œufs) des madeleineaux peut être minimale dans certaines populations, la composition génétique et les caractéristiques biologiques pour tous les groupes d'âge, de taille, et de sexe font partie de l'héritage évolutif de l'espèce et tous les phénotypes devraient être considérés comme des éléments importants pour la durabilité de la population.

Sources d'incertitude

Les analyses des stocks et du recrutement du saumon de l'Atlantique publiées à ce jour ont utilisé des estimations ponctuelles de pontes et de recrutements de saumoneaux ou d'adultes, à l'exclusion des incertitudes des évaluations (erreurs d'observation). L'intégration des erreurs d'observation aurait entraîné une plus grande incertitude concernant l'estimation des paramètres des stocks et du recrutement et des points de référence dérivés. Si le point de référence limite est choisi en fonction d'un risque de dépassement de 50 % du recrutement maximum, on s'attend à ce que le point de référence limite calculé pour un niveau de risques choisi soit plus élevé si les erreurs d'observation sont intégrées.

Des données de séries chronologiques de stock et du recrutement ne sont disponibles que pour un petit nombre de rivières surveillées dans l'est du Canada. Les stocks surveillés s'étendent en latitude de 44,5° N à 55,2° N, en contraste avec les rivières à saumon de l'Atlantique qui s'étendent de 43,6° N à 58,8° N. En ce qui concerne les caractéristiques biologiques, la répartition des saumoneaux selon l'âge et la proportion des œufs provenant des saumons pluribermarins dans les ensembles de données des rivières surveillées sont représentatives de la plupart des caractéristiques du stock du saumon de l'Atlantique, à l'exception de l'absence de rivières dont les populations présentent un âge moyen à la smoltification de quatre ans ou plus, qui sont caractéristiques des stocks du Labrador et de la baie d'Ungava (Chaput et al. 2006; O'Connell et al. 2006). Il est entendu que les dynamiques des stocks et du recrutement modélisées sont représentatives de ces rivières, et conditionnelles aux covariables (présence d'habitat lacustre, âge moyen des saumoneaux ou proportion des œufs provenant de saumons pluribermarins) intégrées dans le modèle. Les quatorze rivières de l'analyse de la série chronologique entre le stade œuf et le stade saumoneau ont des exigences pour la conservation déterminées variant de 0,14 à 12,8 millions d'œufs, et pour dix des quatorze rivières, les exigences de conservation déterminées sont supérieures à 1 million d'œufs (O'Connell et al. 1997). Ceci contraste avec 485 des 1 082 rivières dans l'est du Canada qui présentent des exigences pour la conservation déterminées pour lesquelles plus de 59 % des exigences de conservation sont inférieures à 1 million d'œufs. Environ 37 % des rivières ont les exigences pour la conservation dans la fourchette des exigences de l'ensemble des rivières surveillées. Moins de 5 % des rivières dans l'est du Canada sont plus grandes que celles qui font partie de l'ensemble de données des rivières surveillées. La pertinence de transférer les points de référence aux rivières plus grandes ou plus petites que celles comprises dans les analyses des stocks et du recrutement n'est pas connue.

Selon les analyses à ce jour, des données indiquent des changements temporels dans la production d'eau douce de certaines rivières, mais dans la plupart des stocks surveillés, même si la production d'eau douce peut être très variable, les données indiquant des changements systématiques et durables de la productivité sont limitées. Parmi les populations de l'unité désignable des hautes terres du Sud et de l'unité désignable de l'extérieur de la baie de Fundy, certains facteurs (pH bas, modification des

communautés de poissons et utilisation des terres) ont contribué à une diminution de la productivité de l'eau douce (MPO 2013; MPO 2014). Selon les données actuelles des stocks et du recrutement, il n'a pas été possible d'exclure une capacité biotique et un taux de survie inférieurs à de faibles densités pour les deux stocks surveillés de cette zone (rivière Nashwaak, rivière LaHave), ce qui contraste avec les résultats modélisés de deux autres stocks de cette zone sans données actuelles (rivière Big Salmon, rivière Pollett), pour lesquelles ces états de faible productivité sont peu probables.

En général, les conditions stationnaires en eau douce contrastent nettement avec les diminutions importantes concernant le taux de survie en mer qui se sont amorcées au milieu des années 1980 pour les stocks du saumon de l'Atlantique dans l'est du Canada et en Europe (Chaput 2012). La diminution du taux de survie en mer s'est poursuivie durant plusieurs décennies et rien n'indique à ce jour que ce taux pourrait revenir à celui antérieur aux années 1990. En tenant compte que la productivité marine a diminué, mais que la productivité en eau douce n'a pas décliné, il faudrait envisager d'utiliser uniquement la partie du cycle vital relative à l'eau douce pour l'estimation des points de référence ou pour l'estimation du recrutement des adultes en fonction de l'historique de la période de productivité.

Il semble y avoir une autocorrélation de la dynamique des stocks et du recrutement dans les données de séries chronologiques des œufs jusqu'aux saumoneaux pour plusieurs populations qui font l'objet de surveillance. Si on ignore la présence de l'autocorrélation, l'incertitude est sous-estimé et, par conséquent, le point de référence limite fondé sur la probabilité d'obtenir un niveau minimal de saumoneaux, sera également sous-estimé. L'ajout de facteur d'autocorrélation au modèle des stocks et du recrutement serait un ajout important.

Les points de référence déterminés uniquement en fonction de la dynamique de l'eau douce ne tiennent pas compte des différences et des tendances des taux de retour en mer (qui sont des indicateurs des taux de survie en mer) des saumons unibermarins et pluribermarins; le taux de reproduction du stock à vie n'est pas non plus considéré. Dans des conditions de taux de survie en mer réduit, l'atteinte des objectifs d'échappement de reproducteurs au niveau du point de référence ne garantit pas que le recrutement d'adultes suivant soit suffisant pour remplacer les reproducteurs ou pour atteindre le point de référence limite. Dans ces cas, afin d'assurer de respecter le point de référence limite, on recommandera un taux d'échappement de géniteurs supérieur au point de référence limite prescrit.

CONCLUSIONS ET AVIS

Le point de référence limite peut être déterminé en fonction du maintien de la production de l'eau douce. Ce maintien procure une certaine assurance d'une production suffisante de retour d'adultes pour assurer la diversité des phénotypes d'adultes et la variabilité génétique. Le point de référence limite proposé (S_{PRL}) est une abondance des reproducteurs qui entraînent pas plus de 25 % de chance que le recrutement (en tant que saumoneaux ou d'adultes) soit moins de 50% du recrutement maximal (S_{PRL}). Le niveau de risque de 25 % est fourni comme valeur par défaut en l'absence d'autres directives de la part des gestionnaires.

Aucune recommandation n'est faite pour le point de référence supérieur du stock. Les choix du point de référence supérieur du stock dépendent des objectifs des utilisateurs ainsi que du profil de risque et de la tolérance aux risques de la stratégie de gestion. Le point de référence supérieur du stock doit au moins être supérieur au point de référence limite et la probabilité que le stock tombe sous le point de référence limite devrait être très faible (inférieure à 5 %) lorsque le stock est au point de référence supérieur et qu'il est exploité au taux maximal.

Afin d'être conforme à la politique d'approche de précaution (MPO 2009a), le taux d'exploitation maximal dans la zone saine ne devrait pas dépasser la valeur correspondant au rendement maximal

soutenu (F_{RMS}). Ce taux dans la zone saine peut être calculé une fois déterminé le point de référence supérieur du stock.

Les changements de la productivité durant la phase du cycle vital en mer ou en eau douce auront des conséquences sur le calcul des points de référence. Si les conditions moyennes de productivité dans l'eau douce ne changent pas avec le temps, les points de référence limite déterminés en fonction du maintien d'une proportion de la capacité biotique en eau douce (une proportion de R_{max}) sont robustes préoccupations concernant les changements de la productivité de la phase en mer. Il a été démontré que les points de référence ($S_{0,5Rmax}$; S_{PRL}) proposés sont robustes aux changements de productivité dans la phase en milieu marin.

Les diagnostics d'ajustement du modèle ont démontré à plusieurs reprises que le modèle Beverton-Holt représente mieux la dynamique des stocks et du recrutement du saumon de l'Atlantique que le modèle Ricker. Le modèle Beverton-Holt indique habituellement des estimations plus élevées pour la pente à l'origine que le modèle Ricker. La pente à l'origine est un paramètre clé relatif à la dynamique des stocks et du recrutement, et la valeur de point de référence limite est inversement liée à la pente à l'origine. On privilégie les résultats du modèle Beverton-Holt plutôt que ceux du modèle Ricker.

Des ensembles de données de cycle vital complet représentés par une série chronologique d'adulte à adulte seront nécessaires pour définir le point de référence supérieur du stock ainsi que le point de référence du taux d'exploitation maximum. Pour la reconstitution de ces ensembles de données, il faut tenir compte des prélèvements par les pêches, des composantes du frai répété, et de l'ensemencement à partir des écloseries.

Il est impossible d'obtenir des données de stocks et du recrutement pour toutes les rivières dans l'est du Canada comprenant des populations de saumon de l'Atlantique. Le cadre du modèle hiérarchique bayésien représente un excellent moyen pour aborder l'interchangeabilité et le transfert des points de référence aux populations non surveillées et aux populations pour lesquelles il existe peu de données. Pour le transfert des points de référence, il faut que les covariables utilisées pour la modélisation des paramètres des stocks et du recrutement soient accessibles également pour les populations surveillées et les populations non surveillées. Les covariables qui peuvent être utilisées comprennent la superficie de l'habitat, la latitude de la rivière, la présence et la surface d'habitat lacustre, l'âge moyen des saumoneaux et la proportion des œufs provenant de grands saumons (pluribermarins).

La pertinence de transférer les points de référence aux rivières plus grandes ou plus petites que celles comprises dans les analyses des stocks et du recrutement n'est pas connue. Pour les petites rivières comprenant de petites populations de reproducteurs, il faudrait envisager d'autres considérations selon la taille réelle des populations.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion des 11 au 13 février 2014 sur le Développement de points de référence pour le saumon atlantique conformes à l'Approche de Précaution. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada.

CAFSAC. 1991a. Definition of conservation for Atlantic salmon. CAFSAC Adv. Doc. 91/15.

CAFSAC. 1991b. Quantification of conservation for Atlantic salmon. CAFSAC Adv. Doc. 91/16.

Caron, F., Fontaine, P.M., et Picard, S.E. 1999. Seuil de conservation et cible de gestion pour les rivières à saumon (*Salmo salar*) du Québec. Faune et Parcs Québec, Direction de la faune et des habitats. 48 p.

Chaput, G. 2012. Overview of the status of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the North Atlantic and trends in marine mortality. ICES Journal of Marine Science, 69: 1538–1548.

Chaput G., Allard, J., Caron, F., Dempson, J.B., Mullins, C.C., and O'Connell, M.F. 1998. River-specific target spawning requirements for Atlantic salmon (*Salmo salar*) based on a generalized smolt production model. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 246-261.

Chaput, G., Dempson, J.B., Caron, F., Jones, R., and Gibson, J. 2006. A synthesis of life history characteristics and stock grouping of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in eastern Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2006/015. iv + 47 p.

Chaput, G., Cass, A., Grant, S., Huang, A.-M., and Veinott, G. 2013. Considerations for defining reference points for semelparous species, with emphasis on anadromous salmonid species including iteroparous salmonids. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/146. v + 48 p.

Chaput, G. 2015. Considerations for defining reference points for Atlantic Salmon that conform to the Precautionary Approach. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/074. v + 46 p.

Chaput, G., Prévost, E., Dempson, J.B., Dionne, M., Jones, R., Levy, A., Robertson, M., and Veinott, G. 2015. Hierarchical Bayesian modelling of Atlantic Salmon egg to smolt time series from monitored rivers of eastern Canada to define and transport limit reference points. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/075. v + 84 p.

Dempson, J.B., Schwarz, C.J., Reddin, D.G., O'Connell, M.F., Mullins, C.C., and Bourgeois, C.E. 2001. Estimation of marine exploitation rates on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) stocks in Newfoundland, Canada. ICES Journal of Marine Science 58: 331–341.

Elliott, J.M. 2001. The relative role of density in the stock–recruitment relationship of salmonids. pp. 25–66. In Prévost, E., and Chaput, G. (eds.). Stock, Recruitment and Reference Points: Assessment and Management of Atlantic salmon. INRA Editions, Paris. 223 p.

Frankham, R., Bradshaw, C.J.A., and Brook, B.W. 2014. Genetics in conservation management: revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. Biol. Cons. 170: 56–63.

Gibson, A.J.F. 2006. Population regulation in Eastern Canadian Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2006/016. vi + 36 p.

Gibson, A.J.F., and Claytor, R.R. 2013. What is 2.4? Placing Atlantic Salmon Conservation Requirements in the Context of the Precautionary Approach to Fisheries Management in the Maritimes Region. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/043. iv + 21 p.

Hilborn, R., and Walters, C.J. 1992. Quantitative stock assessment: choice, dynamics, and uncertainty. Chapman and Hall. New York, N.Y.

Holt, C.A., Cass, A., Holtby, B., and Riddell, B. 2009. Indicators of Status and Benchmarks for Conservation Units in Canada's Wild Salmon Policy. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/058: viii + 74p.

ICES. 2013. Report of the Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS), 3–12 April 2012, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2013/ACOM:09. 380 p.

Jonsson, N., Jonsson, B., and Hansen, L.P. 1998. Density-dependent and density-independent relationships in the life-cycle of Atlantic salmon, *Salmo salar*. J. Anim. Ecol. 67: 751-762.

Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J.B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M.F., Mortensen, E. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. Ecology of Freshwater Fish 12: 1-59.

MPO. 2009a. Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution.

MPO. 2009b. Politique du Canada pour la conservation du saumon atlantique sauvage.

MPO. 2012. Points de référence conformes à l'approche de précaution pour une variété de stocks dans la région des Maritimes. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2012/035.

MPO. 2013. Évaluation du potentiel de rétablissement du saumon atlantique des hautes terres du Sud. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/009.

MPO. 2014. Évaluation du potentiel de rétablissement du saumon de l'Atlantique de l'extérieur de la baie de Fundy. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/021.

Myers, R.A., Rosenberg, A.A, Mace, P.M., Barrowman, N.J., and Restrepo, V.R. 1994. In search of thresholds for recruitment overfishing. ICES Journal of Marine Science 51: 191-205.

O'Connell, M.F., and Dempson, J.B. 1995. Target spawning requirements for Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Newfoundland rivers. Fish. Manag. Ecol. 2: 161-170.

O'Connell, M.F., Reddin, D.G., Amiro, P.G., Caron, F., Marshall, T.L., Chaput, G., Mullins, C.C., Locke, A., O'Neil, S.F., and Cairns, D.K. 1997. Estimates of conservation spawner requirements for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for Canada. DFO Can. Stock Assess. Sec. Res. Doc. 97/100.

O'Connell, M.F., Dempson, J.B., and Chaput, G. 2006. Aspects of the life history, biology, and population dynamics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in eastern Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2006/014. iv + 47 p.

Porter, T.R., Healey, M.C., O'Connell, M.F., Baum, E.T., Bielak, A.T., and Côté, Y. 1986. Implications of varying sea age at maturity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) on yield to the fisheries. In Salmonid age at maturity, pp. 110-117. D.J. Meerburg [ed.] Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 89, 118 p.

Prévost, E., Chaput, G., and Chadwick, E.M.P. 2001. Transport of stock-recruitment reference points for Atlantic salmon. p. 95-135. In Prévost, E., and Chaput, G. (eds.). Stock, Recruitment and Reference Points: Assessment and Management of Atlantic salmon. INRA Editions, Paris. 223 p.

Prévost, E., Parent, E., Crozier, W., Davidson, I., Dumas, J., Gudbergsson, G., Hindar, K., McGinnity, P., MacLean, J., and Sættem, L.M. 2003. Setting biological reference points for Atlantic salmon stocks: transfer of information from data-rich to sparse-data situations by Bayesian hierarchical modelling. ICES J. Mar. Sci. 60: 1177-1194.

Reddin, D.G., Dempson, J.B., and Amiro, P.G. 2006. Conservation Requirements for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Labrador rivers. DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2006/071. ii + 29 p.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Golfe
Pêches et Océans Canada
343 avenue Université, Moncton, N.-B. E1C 9B6

Téléphone : 506 851 6253
Courriel : csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2015

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2015. Élaboration de points de référence pour le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) conformes à l'approche de précaution. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/058.

Also available in English:

DFO. 2015. Development of reference points for Atlantic salmon (Salmo salar) that conform to the Precautionary Approach. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2015/058.